

УДК 550.3.834:551.35 (268.46)

А.В. Старовойтов¹, М.Ю. Токарев², Я.Е. Терехина³, Н.А. Козупица⁴**СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИКИ⁵**

Впервые рассмотрено геологическое строение акваторий, прилегающих к Беломорской биологической станции МГУ, — губы Ругозерской и пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря) по сейсмоакустическим данным. Изучены морфология кровли архейского фундамента, строение четвертичного осадочного покрова и рельеф дна. Выделен комплекс ледниковых отложений последнего оледенения и сложнопостроенная толща ледниково-озерных, ледниково-морских и морских осадков. Исследовано их пространственное расположение и характер изменения мощности. Показано, что современный рельеф дна определяется разрывными нарушениями в основном северо-западного и северо-восточного простирания, которые затрагивают весь осадочный разрез, включая голоценовые осадки.

Ключевые слова: Кандалакшский залив, Белое море, сейсмоакустика, ледниковые отложения, поздне-последледниковый комплекс, архейский фундамент.

The geological structure of the water area adjacent to the White Sea biological research station of the Moscow State University (the Rugoserskaya bay and the Great Salma strait, the Kandalaksha gulf of the White Sea) was examined for the first time basing on seismoacoustic data. The morphology of top of the Archaean basement, the structure of the Quaternary sedimentary cover and the bottom topography were studied. A sequence of glacial deposits dating back to the last glaciation and a compound sequence of glaciolacustrine, glacial-marine and marine sediments were delineated. Spatial configuration and thickness behavior were examined. It was demonstrated that the recent bottom topography is controlled by the faults, characterized predominantly by north-western and the north-eastern strike, and affecting the entire sedimentary cover including the Holocene sediments.

Key words: The Kandalaksha gulf, the White Sea, seismoacoustics, glacial deposits, late-post-glacial sequence, Archaean basement.

Введение. С 2004 г. на Белом море в районе Беломорской биологической станции (ББС) МГУ имени М.В. Ломоносова проводится учебно-научная морская геофизическая практика для студентов-геофизиков геологического факультета. Цель практики — ознакомление студентов с методами непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП), гидролокации бокового обзора (ГЛБО) и георадиолокации (на пресноводных озерах и суше). Исследования проводились последовательно на отдельных участках, и к настоящему времени практически вся прилегающая к ББС акватория покрыта плотной сеткой профилей НСП и ГЛБО (рис. 1).

Район практики находится в пределах Беломорского мегаблока, который подстилает большую

часть Белого моря. Слагающие его породы архея (возраст 3,0–2,5 млрд лет) выступают на поверхность по северному, южному и западному побережьям. Беломорская серия состоит в основном из различных гнейсов, преимущественно биотитовых и гранат-биотитовых, а также амфиболитов. Общая мощность серии предположительно составляет 8–10 км, но, возможно, она завышена. Структура чрезвычайно сложная, образована в результате проявления нескольких фаз деформации. В рифее структура Беломорского мегаблока осложнилась образованием наложенного на его осевую часть Кандалакшского грабен-прогиба. Отложения этого прогиба в настоящее время выступают на дневную поверхность вдоль Терского берега Белого моря в виде сероцветной мелководно-морской

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, доцент; *e-mail:* starovoitov_msu@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, вед. науч. с.; *e-mail:* tokarev@decogeo.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, науч. с. *e-mail:* yana.msu@gmail.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра литологии и морской геологии, аспирант; *e-mail:* natako1701@gmail.com

⁵ Работа выполнена в рамках темы «Разработка программно-аппаратных комплексов для поиска, разведки, геофизического и геохимического мониторинга разработки месторождений углеводородов, в том числе в труднодоступных регионах и сложных природно-климатических условиях» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации с использованием оборудования приобретенного по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова (соглашение № 14.607.21.0187 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60717X0187).

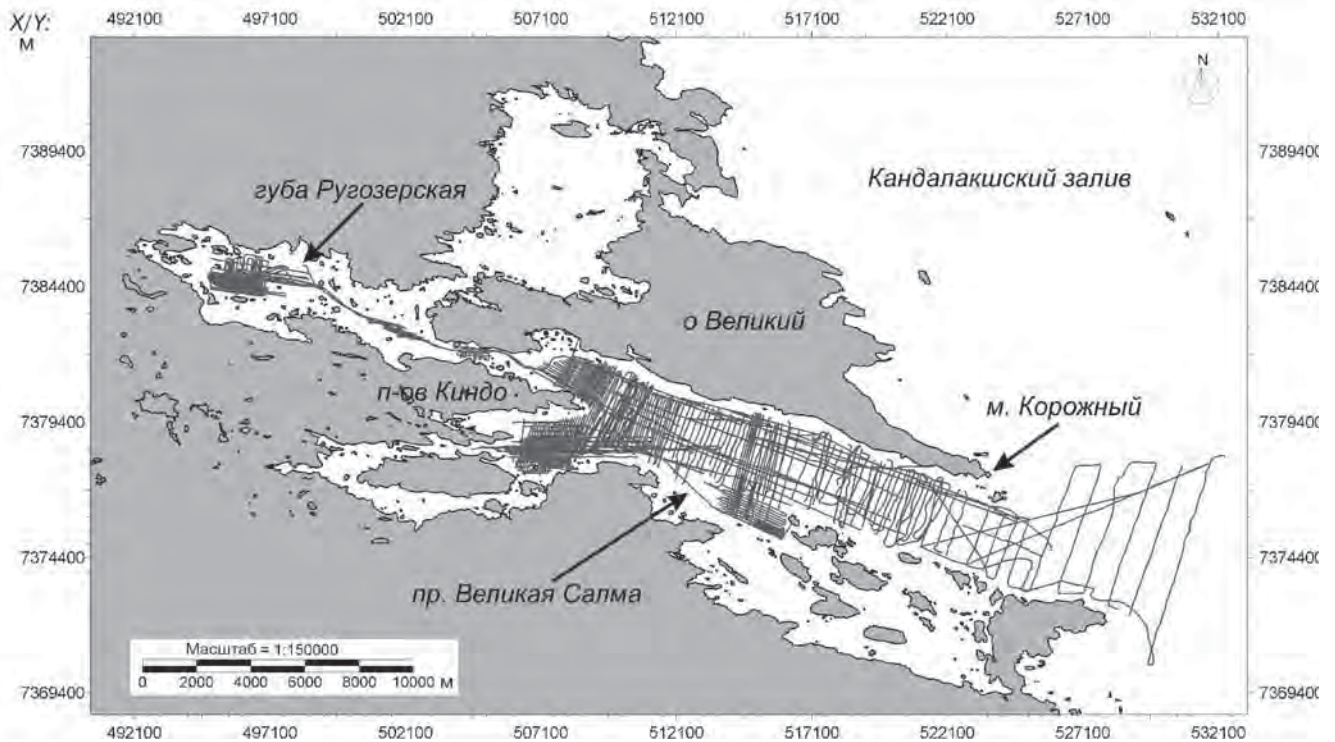


Рис. 1. Схема расположения профилей НСП в губе Ругозерская и проливе Великая Салма

турьинской и красноцветной аллювиальной терской обломочных свит, которые относятся к рифею–венду. Опускания Кандалакшского грабена возобновились в новейшее время, что привело к образованию одноименного залива и современной центральной акватории Белого моря [Хаин, 1977; Слабунов, 2008; Балуев и др., 2009]. В западной части Беломорской впадины, где находится ББС, на породах фундамента залегают четвертичные отложения позднеплейстоценового–голоценового возраста, которые имеют разнообразный состав — от ледниковых до морских [Невеский и др., 1977; Спиридонов и др., 1980]. Более древние осадочные отложения здесь не обнаружены.

Начало планомерному изучению строения осадочного чехла в Беломорской впадине с помощью геофизических методов было положено во время комплексных геолого-геофизических экспедиций, проводившихся с 1972 г. сотрудниками лаборатории сейсмоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и отделом морских исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). На большей части акватории Белого моря была выделена кровля кристаллического фундамента архейского возраста, изучена верхняя часть разреза рифейских и вендских отложений и выявлены основные особенности разреза позднеплейстоценовых–голоценовых отложений. Полученные данные обобщены в ряде работ [Девдариани и др., 1976; Спиридонов и др., 1980; Девдариани, 1985]. Для всех частей разреза определены основные типы волновых картин [Девдариани, 1985; Девдариани и др., 1993], что позволило в дальнейшем

использовать разработанную методику интерпретации данных НСП для анализа материалов, полученных при работах на шельфах Баренцева и Карского морей.

В районе расположения практики вдоль юго-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря по имеющимся материалам отложения рифея и венда отсутствуют, а позднеплейстоценовые–голоценовые отложения залегают на архейских гнейсах Беломорского мегаблока [Слабунов, 2008; Кубышкина и др., 2012; Сорокин и др., 2009]. Полученные материалы позволили существенно дополнить методику интерпретации как сейсмоакустических данных, так и материалов гидролокации бокового обзора применительно к гляциальному шельфу Западной Арктики, впервые получить данные о строении осадочного чехла в губе Ругозерская и проливе Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря и значительно уточнить рельеф дна на этих участках. В статье рассматриваются основные результаты сейсмоакустических исследований.

Материалы и методы исследований. Сейсмоакустические наблюдения проводились с двумя типами источников — электроискровым (спаркером) и электродинамическим (бумером). Частотный состав возбуждаемых колебаний менялся от нескольких сотен герц до 1500 Гц. Работы выполнялись в двух методических вариантах — приповерхностном, когда источник и приемник находились на согласованной глубине [Калинин и др., 1983], и заглубленном [Токарев, 2016]. Разрешающая способность по вертикали менялась от нескольких

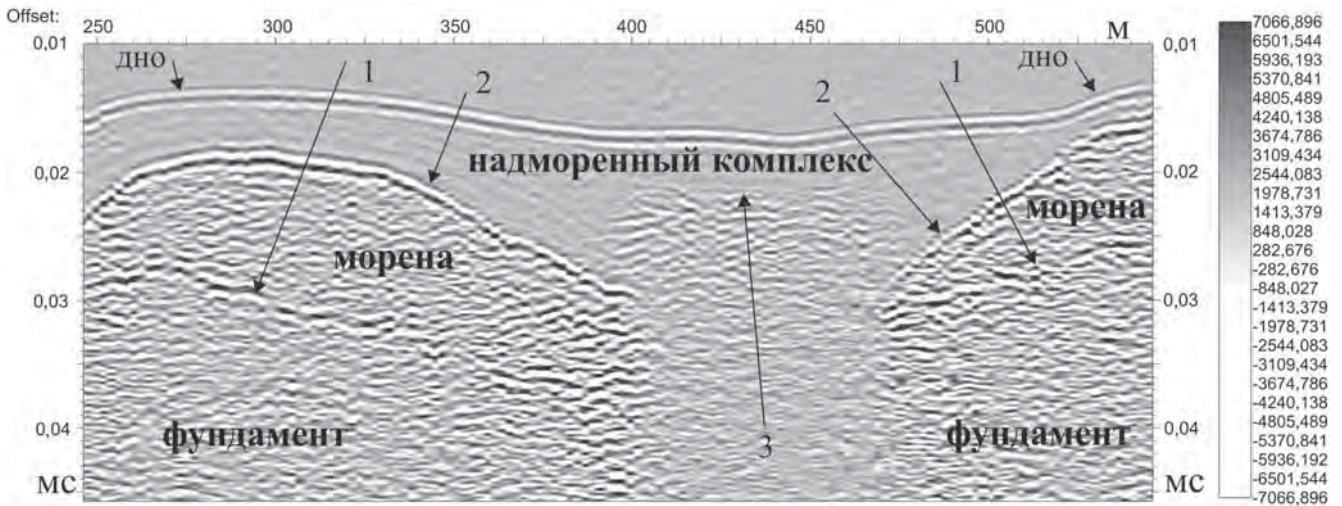


Рис. 2. Фрагмент сейсмограммы с примером выделения основных комплексов в разрезе губы Ругозерской: 1, 2 — границы между фундаментом и мореной (1) и мореной и надморенным слоистым комплексом (2); 3 — кровля газонасыщенных отложений. Справа от разреза показаны значения амплитуды

десятков сантиметров до 1,0–1,5 м. Большая часть материалов получена с многоканальной косой, состоящей из 16 приемников, расположенных с шагом 2 м, длина косы 32 м. Позиционирование осуществлялось при помощи эхолота-навигатора «Lowrance LMS 320». Эта модель совмещает в одном корпусе эхолот и GPS-навигатор. Точность привязки по паспортным данным — 15 м. Расстояние между профилями, как правило, не превышало 100 м (рис. 1).

Результаты исследований и их обсуждение.

Примеры типов разрезов. По данным сейсмоакустического профилирования выделено несколько основных типов строения разрезов, которые наиболее часто встречаются в рассматриваемом районе. Типичный для губы Ругозерская разрез представлен на рис. 2. Нижняя часть разреза имеет хаотический тип волновой картины, от залегающих выше сейсмокомплексов отделяется интенсив-

ными осями синфазности отраженных волн (на рис. 2 показаны цифрой 1). Этот сейсмокомплекс соотносится с комплексом архейских гнейсов (фундамент). Выше залегает сейсмокомплекс с хаотическим типом волновой картины, резко изменчивой мощностью и холмообразной формой в разрезе, который по комплексу признаков отнесен к ледниковым образованиям [Девдариани, 1993]. Самые молодые осадки, которые перекрывают ледниковые отложения, имеют слоистый тип волновой картины и характерные сейсмические признаки наличия газонасыщенности в осадках [Шалаева, Старовойтов, 2010; Иванова и др., 2016].

В проливе Великая Салма разрез существенно меняется. Ледниковые образования встречаются только на мелководных участках. В глубоководной центральной части пролива мощность отложений, залегающих на фундаменте, резко увеличивается, и они в основном сложены оползевыми толщами

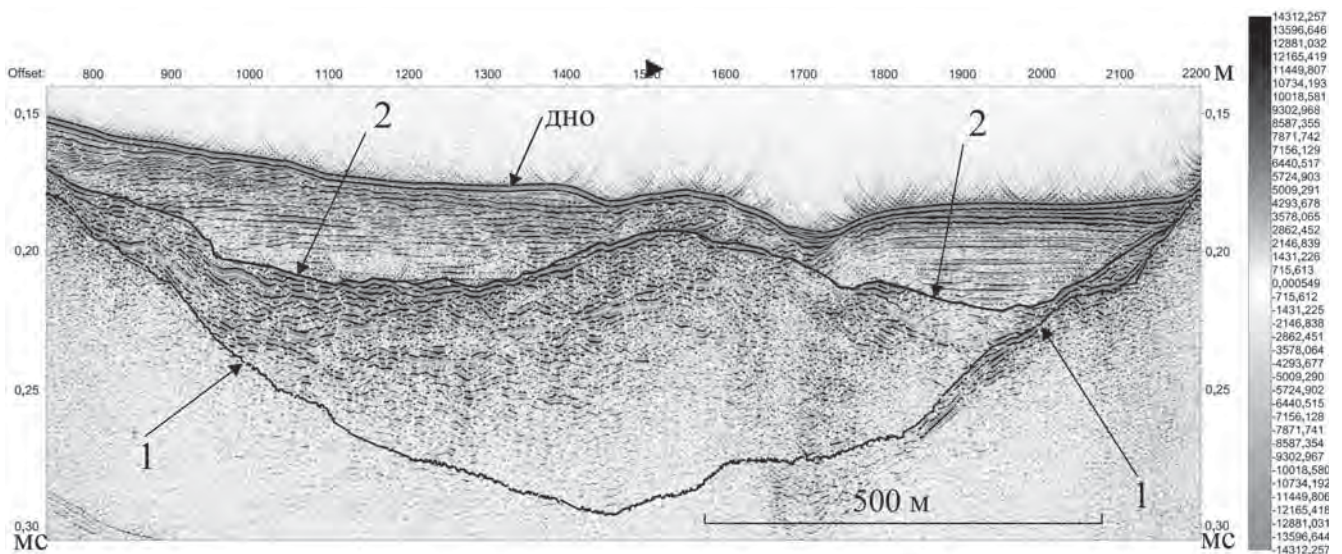


Рис. 3. Фрагмент поперечного сейсмоакустического профиля через центральную глубоководную часть пролива Великая Салма: 1 — кровля фундамента (подшоша оползневое тела); 2 — кровля оползневое тела. Справа от разреза показаны значения амплитуды

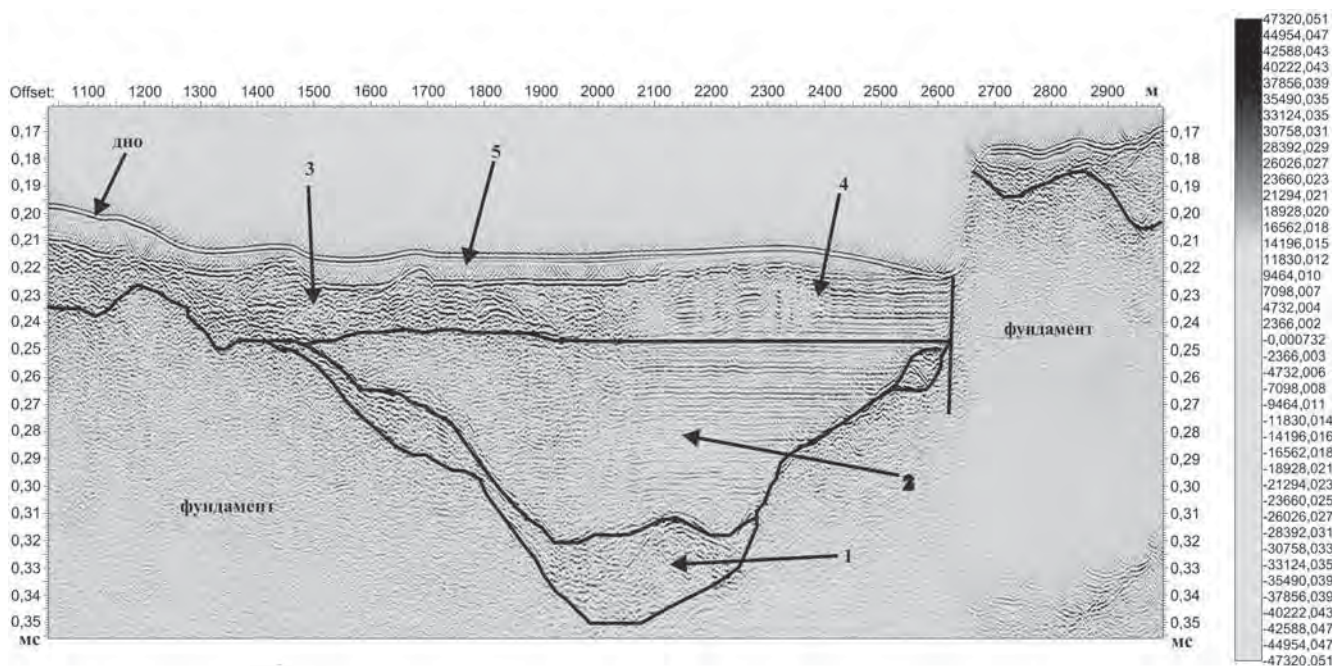


Рис. 4. Фрагмент поперечного сейсмоакустического профиля через центральную часть пролива Великая Салма (расположен на юге от м. Кожожный, см. рис. 1): 1, 3 — нижнее и верхнее оползневые тела соответственно; 2, 5 — нижний и верхний слоистые комплексы соответственно; 4 — смена слоистого комплекса на хаотический. Черная вертикальная линия — разрывное нарушение. Справа от разреза — значения амплитуды

разной мощности с сложной внутренней структурой, на которых залегает комплекс тонкослоистых субгоризонтально залегающих, по-видимому, морских осадков (рис. 3).

Далее по направлению к месту впадения пролива в собственно Кандалакшский залив Белого моря на многих участках строение четвертичного покрова усложняется еще больше (рис. 4). Разрез представлен здесь чередованием комплексов с хаотическим и слоистым типами волновой картины. Хаотические комплексы (1 и 3 на рис. 4) — типичные оползневые образования. Показана резкая смена отложений с горизонтально-слоистым типом волновой картины на образования с хаотическим внутренним строением (т.е. деформированных, 4 на рис. 4). Верхний стратифицированный сеймокомплекс, очевидно, представлен голоценовыми морскими осадками.

Сводный разрез. На основе результатов предыдущих сейсмоакустических исследований в Беломорской впадине и данных, полученных в рассматриваемых районах, была выделена кровля архейского фундамента и изучен залегающий на нем сложный комплекс четвертичных отложений. Обобщенный разрез представляется следующим (рис. 5). Все выделенные сейсмические комплексы (СК) в основном существенно отличаются по типу волновой картины и разделены границами несогласий.

Породы фундамента (архейские гнейсы Беломорского блока) имеют акустически прозрачный или хаотический типы записи. Последний тип, вероятно, отражает строение более разрушенных,

трещиноватых блоков. Оси синфазности отраженных волн в породах фундамента отсутствуют. Рельеф кровли довольно сложный, может быть представлен отражениями различного частотного состава. На сейсмоакустических разрезах кровля гнейсов архея в районе — самая нижняя отражающая граница.

Четвертичная толща, залегающая на архейских гнейсах, в основании которой практически везде присутствуют ледниковые отложения, имеет максимальную мощность несколько десятков метров. Собственно ледниковые отложения (морена) на сейсмограммах характеризуются неслоистым типом волновой картины — от акустически прозрачной до хаотической и резко изменчивой мощностью (рис. 2) [Девдариани и др., 1993]). При исследованиях на высоких частотах (>800–1000 Гц) и при мощности морены >15–20 м в некоторых случаях не удается уверенно выделить подошву ледникового сеймокомплекса, что затрудняет его картирование вследствие схожести волновых картин, соответствующих породам фундамента и морене. Волновые картины в ледниковых отложениях отличаются, очевидно, в зависимости от их литологического состава и могут меняться от акустически прозрачной до хаотической.

Сейсмические комплексы, залегающие на ледниковых отложениях, а иногда и на породах архея (объединяемые в надморенный комплекс), отличаются прежде всего наличием слоистости различного типа (рис. 2–5). Резкие изменения мощности отдельных элементов этой части разреза (вплоть до исчезновения) и в целом всего над-

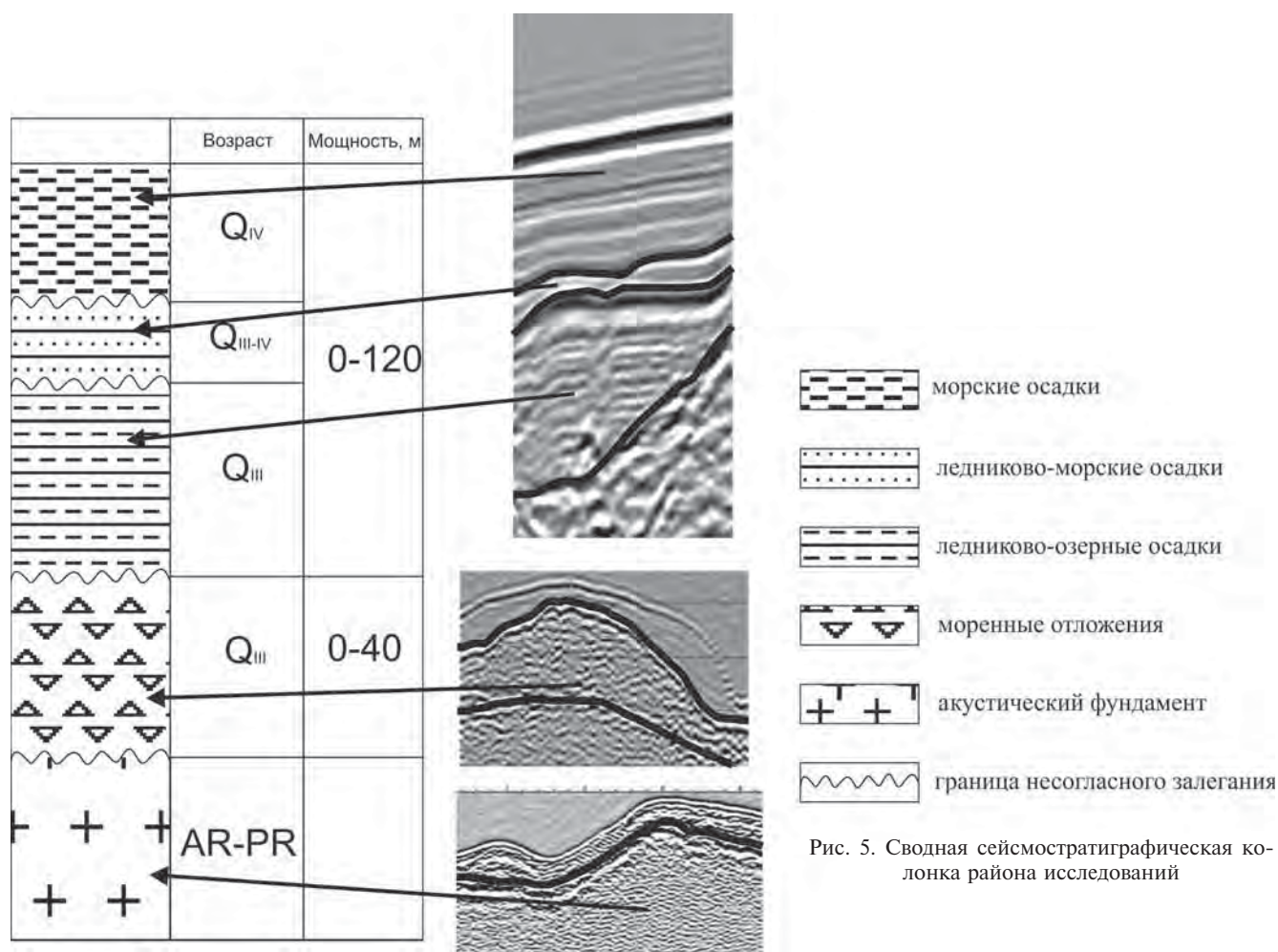


Рис. 5. Сводная сеймостратиграфическая колонка района исследований

моренного комплекса на небольшом расстоянии сильно затрудняют его картирование, особенно сопоставление отдельных толщ по латерали. На основе результатов донного опробования отложения, залегающие на морене, были разделены на три основных сеймокомплекса, которые разделены границами несогласий и соответствуют (снизу—вверх), по-видимому, ледниково-озерным, ледниково-морским и морским отложениям [Спиридонов и др., 1980; Кубышкина и др., 2012]. Суммарная мощность надморенного осадочного комплекса может достигать 120 м.

Рельеф дна. Район, прилегающий к биостанции МГУ, в целом представляет собой один из небольших заливов, являющихся частью Кандалакшского залива Белого моря. В кутовой (западной) части находится так называемая Ругозерская губа, восточная часть получила название пролив Великая Салма (рис. 1). В рельефе поверхности дна выделяются два основных участка, отличающихся по глубине. Граница между ними проходит немного восточнее п-ова Киндо (м. Киндо). На западном участке, более мелководном, глубина не превышает 30–35 м, восточнее п-ова Киндо наблюдается довольно резкое увеличение глубины до 50–80 м, а в восточной части района исследований в месте впадения пролива Великая Салма в Кандалакш-

ский залив глубина увеличивается до 130–140 м (рис. 6). Одновременно с увеличением глубины происходит довольно резкое расширение пролива. Его центральная, наиболее глубоководная часть представляет собой вытянутую в юго-восточном направлении узкую долину шириной до 2 км, углы наклона дна на бортах которой достигают 4–7° (редко больше). Долина имеет прямолинейную форму, в целом параллельна юго-западному побережью о-ва Великий, в плане продолжает пролив, соединяющий губу Ругозерская и пролив Великая Салма. Следует отметить, что на плоском днище долины выделяются вытянутые также в юго-восточном направлении локальные впадины. Прилегающие к долине с северо-востока и юго-запада мелководные участки сильно отличаются — юго-западный характеризуется сильной изрезанностью береговой линии, наличием многочисленных островов и мелководных участков, занимающих значительную площадь (рис. 6).

Строение кровли архейского фундамента. На сейсмоакустических разрезах самая нижняя отражающая граница, как правило, представлена кровлей архейских пород фундамента — гнейсов, имеющих возраст 2,8–3,0 млрд лет [Слабунов, 2008]. На некоторых участках породы фундамента выходят на дно. На большей части изученной

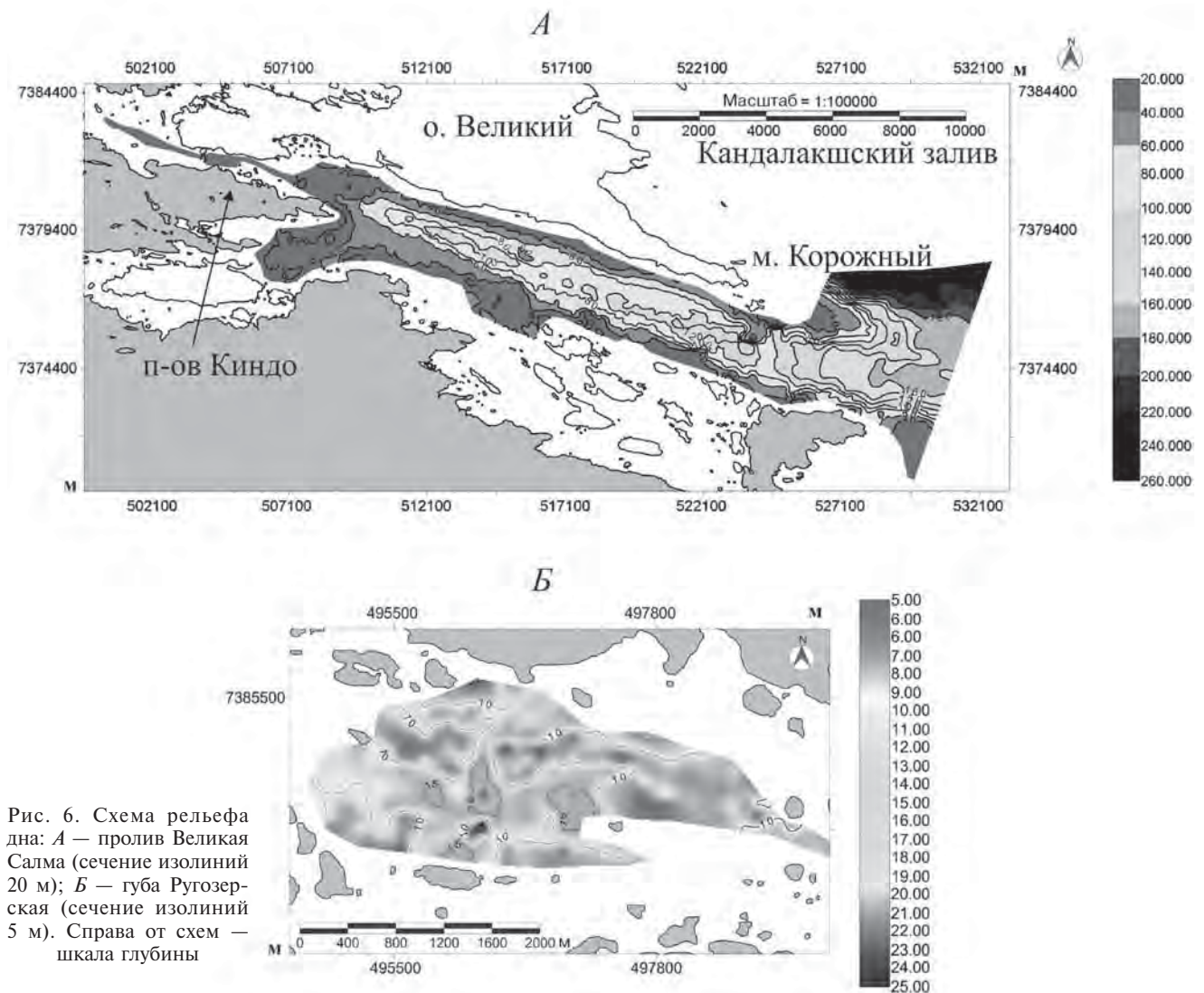


Рис. 6. Схема рельефа дна: А — пролив Великая Салма (сечение изолиний 20 м); Б — губа Ругозерская (сечение изолиний 5 м). Справа от схем — шкала глубины

акватории кровля архейского комплекса залегает на глубине до 50 м, за исключением юго-восточной части пролива Великая Салма, где в устьевой части кровля погружается до глубины около 200 м (рис. 7). В плане наиболее погруженная часть кровли коренных пород практически полностью совпадает с современной подводной долиной, вытянутой по длинной оси пролива (рис. 6 и 7). На архейских гнейсах с несогласием залегает осадочная толща четвертичного возраста, более древние осадочные образования в этом районе не обнаружены. Поверхность кровли, как правило, сильно сглажена, а местами имеет блоковое строение. На рис. 8 приведен пример блокового строения фундамента, кровля которого выделяется на профиле по характерной низкочастотной волновой картине.

Ледниковые отложения. Осадочный чехол начинается с ледниковых отложений максимальной стадии последнего (Валдайского) оледенения (осташковский горизонт, 20–18 тыс. лет назад), которые широко распространены в изученном районе. Выделяется также днепровская морена, однако, как предполагают, она сохранилась только в

понижениях кровли фундамента, главным образом в долинах рек, а на остальной территории предположительно уничтожена Валдайским ледником. Валдайская морена представлена супесями и суглинками, реже глинами и содержит обломочный материал местного происхождения (гнейсы, граниты, амфиболиты и т.д.) [Невеский и др., 1977]. Отложения ледникового комплекса имеют резко изменчивую мощность (от нескольких метров, а в некоторых местах 50 м), отличаются от более молодых слоистых отложений хаотической волновой картиной и отделяются отчетливой границей несогласия (рис. 2, 9).

Морена с максимальной мощностью около 50 м обнаружена на севере от восточного окончания п-ова Киндо и на одном участке в мелководной юго-западной части пролива Великая Салма (рис. 9). В среднем мощность ледниковых отложений составляет 10–15 м. В плане незначительные значения мощности приурочены к подводной долине глубоководной части пролива Великая Салма, более мощные ледниковые отложения (до 15–20 м) развиты преимущественно на мел-

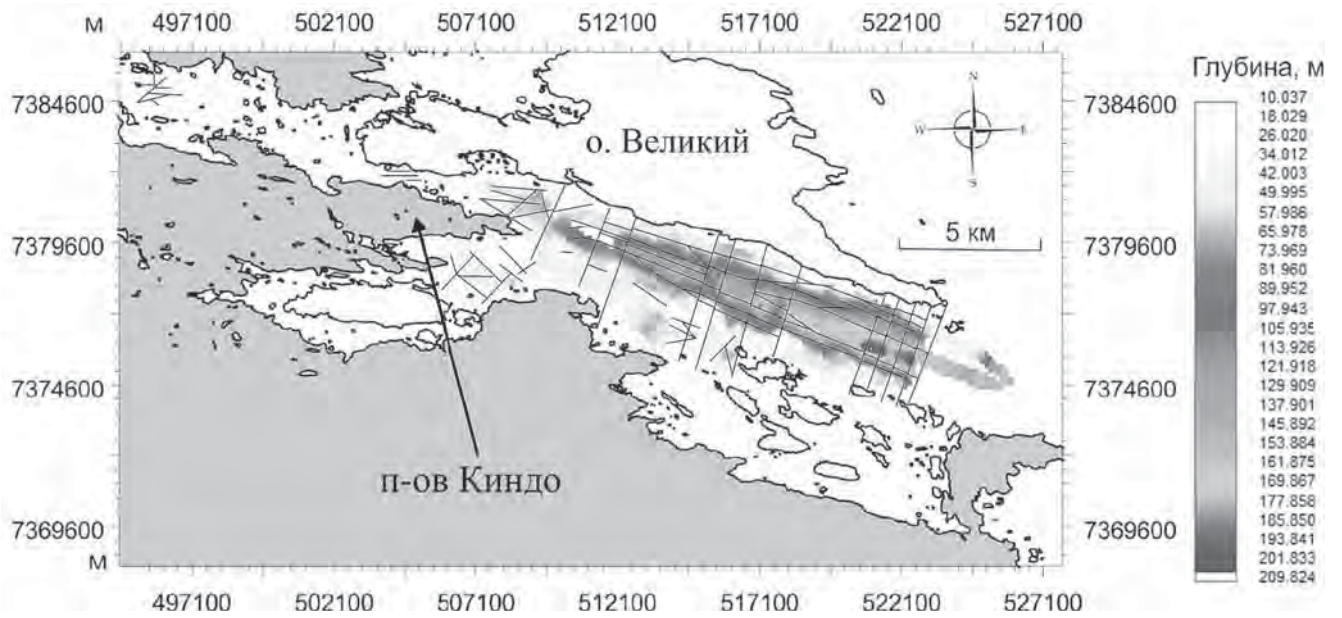


Рис. 7. Рельеф кровли архейского фундамента с разрывными нарушениями

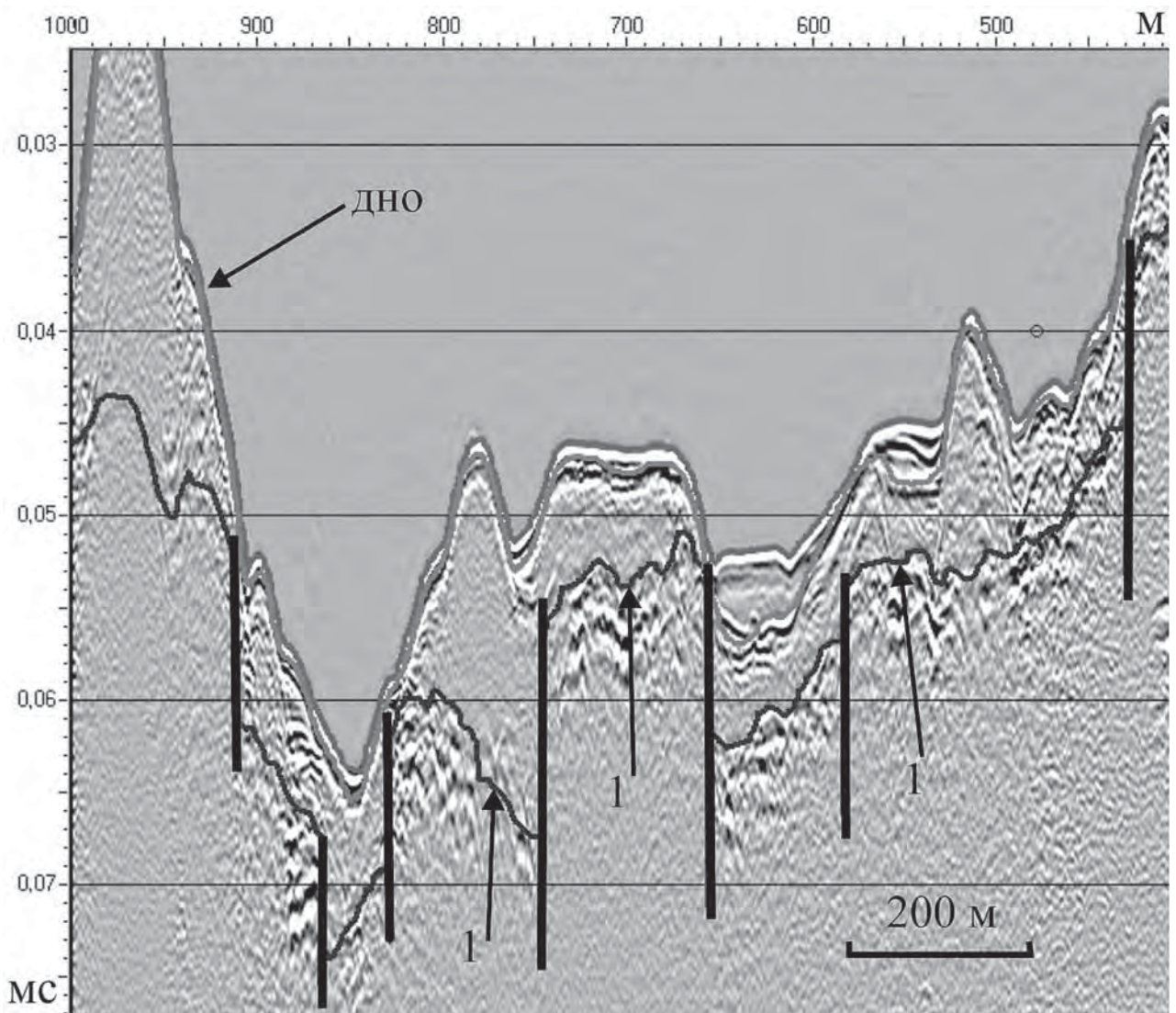


Рис. 8. Фрагмент сейсмоакустического профиля, иллюстрирующий блоковое строение фундамента. Стрелками (1) показана его кровля, разрывы — черные вертикальные линии

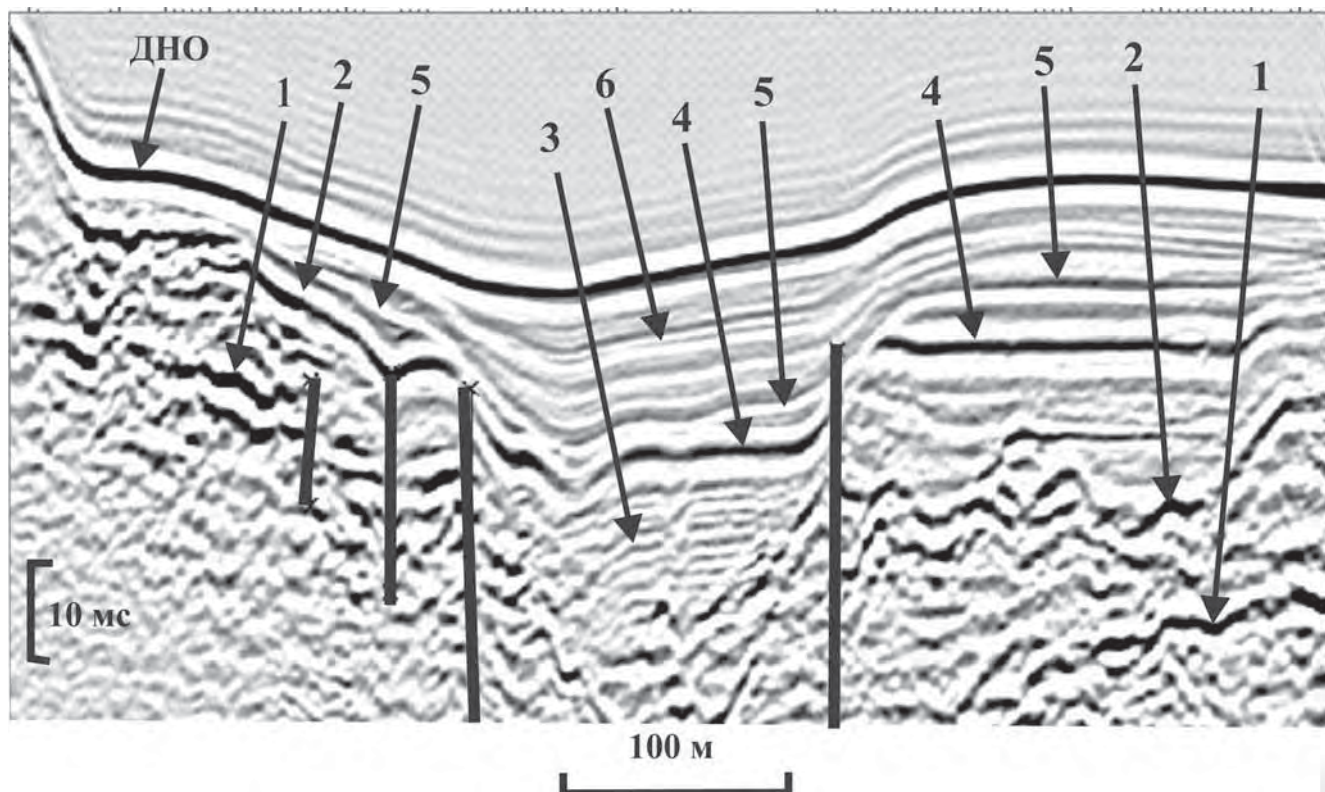


Рис. 9. Фрагмент сейсмоакустического профиля с основными сейсмокомплексами: 1 — кровля фундамента; 2 — кровля морены; 3 — нижний слоистый сейсмокомплекс (ледниково-озерный?) в надморенной толще; 4 — кровля нижнего слоистого сейсмокомплекса в надморенной толще; 5 — кровля среднего сейсмокомплекса (ледниково-морской?) в надморенной толще; 6 — верхний слоистый сейсмокомплекс (морской) в надморенной толще. Черные вертикальные линии — разрывные нарушения

ководной юго-западной отмели пролива и в губе Ругозерская (рис. 10). Морена обычно перекрыта более молодыми слоистыми осадками (рис. 2), но на некоторых участках может обнажаться на дне.

В плане ледниковый комплекс тяготеет преимущественно к более мелководным участкам, другие закономерности не наблюдаются.

Надморенный комплекс. Ледниковый комплекс с несогласием перекрыт осадочными верхнеплейстоценовыми-голоценовыми отложениями разнообразного литологического состава и генезиса, которые, в отличие от морены, имеют слоистый тип волновой картины (рис. 2, 5, 9). Основные сведения о литологии этой части разреза получены в результате изучения грунтовых колонок [Невеский и др., 1977; Спиридонов и др., 1980; Медведев, Невеский, 1971]. По данным этих авторов, в надморенной толще выделяются ледниково-морской и морской комплексы (подкомплексы). Первый представлен озерно-ледниковыми и ледниково-морскими отложениями, причем озерно-ледниковые распространены гораздо шире, чем ледниково-морские. Четвертичный разрез Беломорской впадины завершают морские осадки. По составу надморенные отложения отличаются большим разнообразием (глины, суглинки, пески, илы). В отличие от ледникового комплекса (рис. 10), минимальная мощность перекрывающих его более молодых отложений

выделена на мелководных участках акватории (до 15–20 м, а максимальная (120–130 м) наблюдается в осевой части подводной долины пролива Великая Салма (рис. 11). Волновая картина, соответствующая надледниковым отложениям, меняется от практически акустически прозрачной до тонкослоистой.

В глубоководной долине пролива Великая Салма и на ее склонах развиты отложения со сложной внутренней структурой различной мощности, генезис которых обусловлен, видимо, действием гравитационных процессов. Мощность этих отложений может достигать нескольких десятков метров, причем оползание отложений происходило в несколько этапов (рис. 3, 4). Их мощность значительно меняется не только по падению склона, но и вдоль дна долины, вследствие чего часто трудно определить преобладающее направление движения масс и тип их движения. Можно предположить, что на некоторых участках оползневые отложения могут включать в себя морену.

В позднее-последледниковых и морских осадках, несмотря на в целом слоистую структуру, можно выделить несколько сейсмокомплексов, отделенных один от другого границами угловых несогласий. Как указано выше, число этих комплексов может меняться на небольшом расстоянии, тем не менее, основываясь на материалах пробобора, можно уверенно выделить три основ-

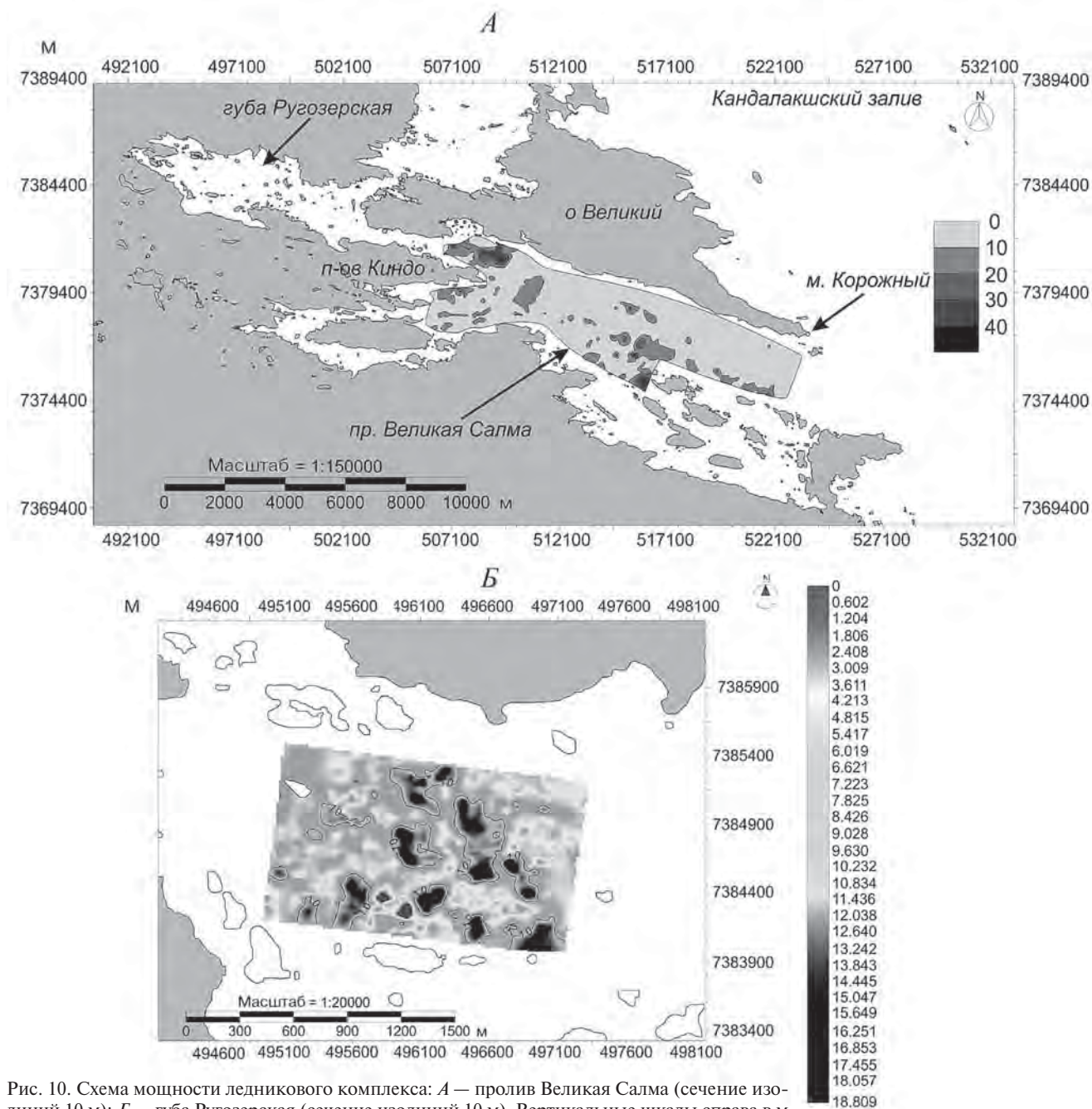


Рис. 10. Схема мощности ледникового комплекса: А — пролив Великая Салма (сечение изолиний 10 м); Б — губа Ругозерская (сечение изолиний 10 м). Вертикальные шкалы справа в м

ных комплекса, которые предположительно сопоставляются (снизу—вверх) с озерно-ледниковыми, ледниково-морскими и современными морскими отложениями соответственно (рис. 5, 9).

В губе Ругозерская и на некоторых других участках в осадочной толще по характерным сейсмическим признакам выделены газонасыщенные осадки (рис. 2) [Иванова и др., 2016]. Средняя глубина залегания их кровли от поверхности дна составляет 3,5–4,0 м, минимальная — около 2 м. Предполагаемая мощность газонасыщенных отложений, по-видимому, не более 1,8–2,0 м. Максимальные размеры в плане 350–200 м, обычно существенно меньше, приурочены они к понижениям в кровле ледниковых отложений. Следует

отметить, что газонасыщенные осадки встречаются только в южной половине губы Ругозерская.

Разрывные нарушения. На новейшем этапе развития в Кандалакшском грабене возобновились опускания, вследствие чего образовался Кандалакшский залив и Центральный бассейн Белого моря [Хаин, 1977; Девдариани, 1985; Балуев и др., 2009]. Эти движения сопровождались широким развитием здесь блоковых субвертикальных разрывных нарушений преимущественно северо-западного простирания, совпадающих в основном с простиранием Кандалакшского грабена. Опускания в Кандалакшском грабене сопровождались возрождением большинства разломов и проявлением вдоль них многочисленных очагов

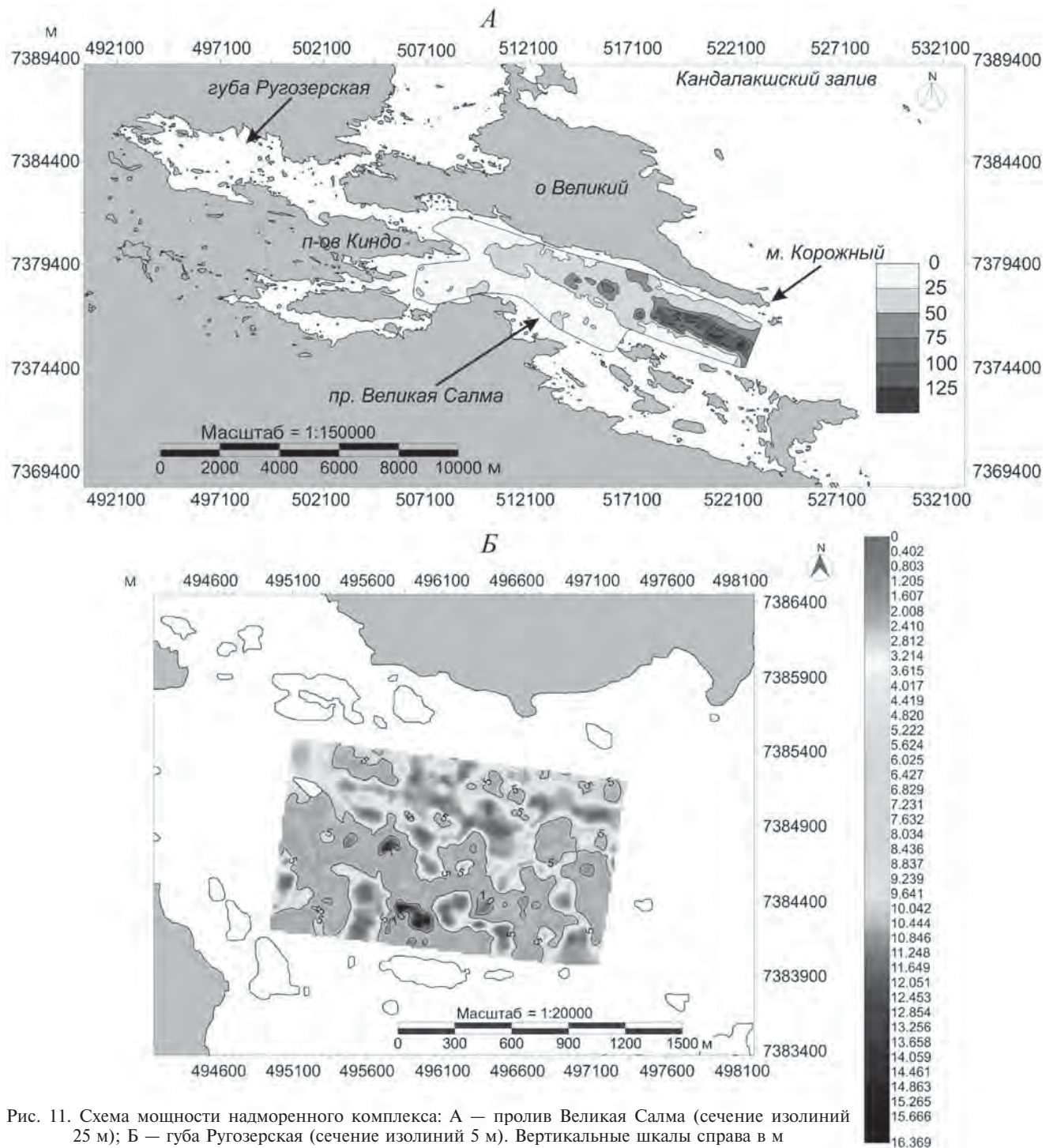


Рис. 11. Схема мощности надморенного комплекса: А — пролив Великая Салма (сечение изолиний 25 м); Б — губа Ругозерская (сечение изолиний 5 м). Вертикальные шкалы справа в м

землетрясений [Балуев и др., 2009]. Отмечены также поперечные разрывы северо-восточного направления. Имеющиеся данные «позволили рассматривать новейшую тектонику Балтийского щита в основном с позиции субвертикальных движений весьма умеренной, платформенной интенсивности, что стало общепринятым» [Зыков, 2001, с. 18], однако появляются данные и о горизонтальных движениях и деформациях.

В западной части Беломорья происходит воздымание берегов, что связано с продолжающимся общим сводово-купольным воздыманием Балтийского щита в поздне-последледниковое время. Сум-

марное поднятие в Карелии после таяния ледового покрова (14–12 тыс. лет назад) в отдельных районах достигает 250 м. На территории, прилегающей к ББС, скорость поднятия в настоящее время составляет несколько миллиметров в год — от 2 до 6 [Кошечкин, 1979; Геоморфология Карелии ..., 1977; Путешествие ..., 2001].

Разрывные дислокации довольно широко распространены в изучаемой акватории. При их картировании использовались как геоморфологические, так и кинематические (структурные) признаки. Отражающих границ в верхней части архейского комплекса, как показывает многолет-

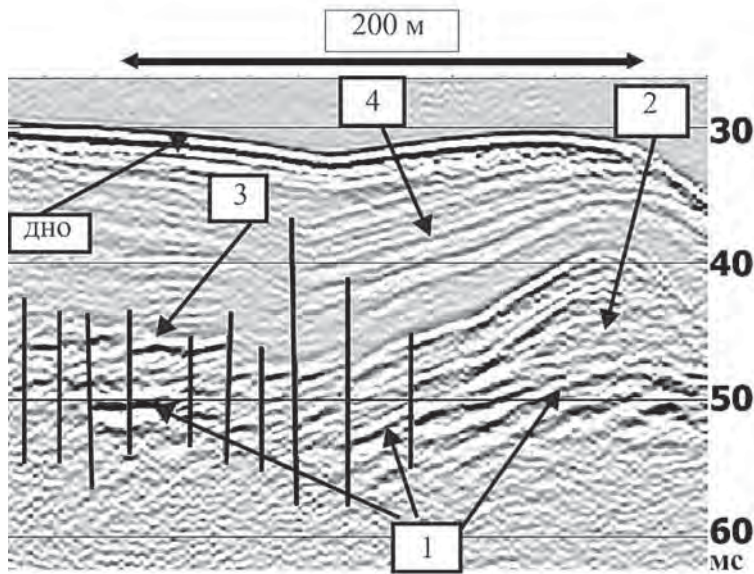


Рис. 12. Разрывные нарушения (вертикальные черные линии), смещающие кровлю фундамента, кровлю морены и надморенную толщу: 1 — кровля фундамента; 2 — морена; 3 — интенсивный отражающий горизонт в нижней части надледниковых отложений; 4 — слоистая надледниковая толща

ний опыт сейсмоакустических наблюдений на акватории Белого моря, нет, поэтому для выделения разрывов, затрагивающих этот комплекс, необходим анализ поверхности кровли фундамента, т.е. морфологический. Выделение разрывных дислокаций по наличию уступов в кровле фундамента проводилось, очевидно, не по отдельным профилям, анализировалось пространственное расположение этих форм рельефа (т.е. их линейность). Высота уступов иногда может достигать 35–40 м, и они часто хорошо выражены в современном рельефе дна (рис. 4), хотя это наблюдается не всегда.

Превышение кровли отдельных блоков над соседними (т.е. амплитуда смещения кровли) в среднем составляет 10–12 м. Необходимо отметить, что рельеф поверхности дна на рассматриваемом участке практически полностью повторяет рельеф кровли фундамента, т.е. движения по разломам, по-видимому, активны и в настоящее время (рис. 8). Наиболее крупные разрывные дислокации на суше выражены, как правило, либо

в виде линейных отрицательных форм рельефа шириной несколько метров, либо в виде уступов различной высоты. В фундаменте наблюдаются также трещины, практически не выраженные в рельефе.

На многих участках субвертикальные разрывные нарушения прослеживаются и в верхней стратифицированной части отложений, перекрывающих ледниковый комплекс и фундамент, смещая не только кровлю фундамента, но и кровлю ледникового комплекса и слои в самой верхней части разреза (рис. 12 и 13). Амплитуда

смещения, как правило, не превышает несколько метров. Таким образом, на рассмотренных участках Кандалакшского залива широко распространены разрывные дислокации, которые смещают отложения всех выделенных комплексов вплоть до голоценовых (?) осадков. Большая их часть хорошо выражена в современном рельефе, т.е. они активны и в настоящее время. Максимальная амплитуда смещения по сейсмоакустическим данным может достигать 35–40 м.

Опытно-методические сейсмоакустические исследования, проведенные в губе Бабы море (рис. 1), показали, что строение разреза в ней аналогично таковому в рассмотренных акваториях [Старовойтов и др., 2016].

Выводы. 1. Впервые изучены рельеф кровли архейского фундамента и четвертичный осадочный чехол рассматриваемого района. В осадочном чехле снизу вверх выделены: 1) сейсмокомплекс, который соотнесен с ледниковыми отложениями (мореной), его максимальная мощность около 40 м; 2) сейсмокомплексы, залегающие на морене, которые на некоторых участках предположительно можно сопоставить с ледниково-озерными, ледниково-морскими и морскими отложениями. Максимальная мощность надморенных отложений достигает 120 м.

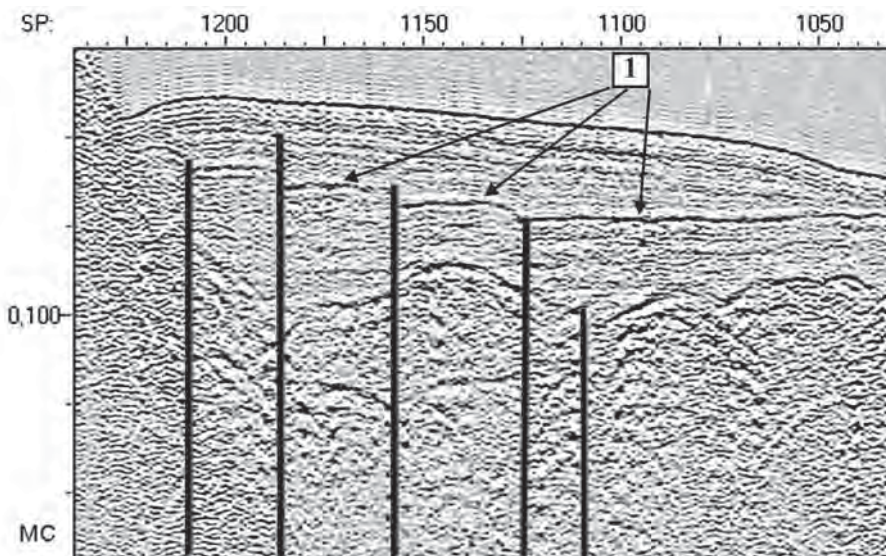


Рис. 13. Разрывные нарушения, затрагивающие весь разрез четвертичных отложений вплоть до голоценовых (?). Разрывы — вертикальные черные линии, стрелки (1) — отражающий горизонт в надморенной толще, по которому отчетливо видны смещения по разрывам

2. В надледниковых отложениях выявлены газонасыщенные осадки — в южной части губы Ругозерская, в губе Черная и в северо-западной части пролива Великая Салма. Максимальная ширина газонасыщенных отложений в плане достигает 500 м. Глубина залегания их кровли в среднем составляет 3–4 м.

3. В проливе Великая Салма надморенные отложения на многих участках сложены оползневыми образованиями мощностью несколько десятков метров.

4. По данным морфологического и структурного анализа выявлены основные разрывные нарушения преимущественно северо-западного и

северо-восточного простирания, которые затрагивают архейские гнейсы, а на некоторых участках и позднплейстоценовые—голоценовые (?) осадки. Генезис разрывных дислокаций связан с активизацией тектонических движений в Кандалакшском грабене в позднем плейстоцене—голоцене после неотектонического воздымания территории, обусловленного гляциоизостатическим поднятием Балтийского щита после схода последнего ледникового покрова. Рельеф дна в проливе Великая Салма практически везде отражает морфологию кровли архейского фундамента, имеющего в целом блоковое строение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балуев А.С., Пржиялговский Е.С., Терехов Е.Н.* Новые данные по тектонике Онежско-Кандалакшского палеорифта (Белое море) // Докл. РАН. 2009. Т. 425, № 2. С. 249–252.
- Геоморфология Карелии и Кольского полуострова / Под ред. В.Г. Печнова. Л.: Наука, 1977. 181 с.
- Девдариани Н.А.* Геологическое строение Беломорской впадины: Автореф. канд. дисс. М., 1985.
- Девдариани Н.А., Старовойтов А.В., Рыбалко А.Е., Стручков В.А.* Типы волновой картины и условия залегания ледниковых отложений Белого и Баренцева морей по данным непрерывного сейсмопрофилирования // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1993. Т. 68, вып. 3. С. 117–122.
- Девдариани Н.А., Ковальская И.Я., Рыбалко А.Е., Пивоваров Б.Л.* Некоторые черты истории развития Кандалакшского залива на основании данных сейсмоакустического профилирования // Океанология. 1976. Т. 16, № 3. С. 501–505.
- Зыков Д.С.* Новейшая геодинамика Северо-Карельской зоны (Балтийский щит). М.: ГЕОС, 2001. 146 с.
- Иванова А.А., Соловьева М.А., Рыбалко А.Е.* и др. Обобщение материалов о газонасыщенных осадках в Кандалакшском заливе Белого моря // Тез. Докл. Конф. «Инженерная геофизика 2016», 2016, 25–29 апреля, Анапа, ГН06.
- Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л.* Сейсмоакустические исследования на акваториях. М.: Недра, 1983. 204 с.
- Кошечкин Б.И.* Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Недра, 1979. 158 с.
- Кубышкина А.И., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю.* Строение осадочного чехла на модельном полигоне «Глубоководный» по данным сейсмоакустического профилирования. «Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов» // Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 11. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2012. С. 34–40.
- Медведев В.С., Невеский Е.Н.* Основные этапы осадкообразования в Белом море в верхнечетвертичное время // Геоморфология и литология береговой зоны морей и других крупных водоемов. М.: Наука, 1971. С. 111–118.
- Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В.* Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
- Слабунов А.И.* Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 296 с.
- Сорокин В.М., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю.* и др. Комплексные геолого-геофизические исследования осадочного чехла пролива Великая Салма // Разведка и охрана недр. 2009. № 2. С. 47–52.
- Спирidonов М.А., Девдариани Н.А., Калинин А.В.* и др. Геология Белого моря // Сов. геология. 1980. № 4. С. 45–55.
- Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Потемка А.К., Токарев А.М.* Опыт-методические сейсмоакустические исследования в губе Бабье море // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов // Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2016. С. 5–16.
- Токарев М.Ю.* Разработка технологии многоканальных сейсмоакустических исследований с заглубленными системами на мелководных акваториях: Автореф. канд. дисс. М., 2016.
- Хаин В.Е.* Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. М.: Недра, 1977. 360 с.
- Шалаева Н.В., Старовойтов А.В.* Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях. М.: Изд-во Моск.-ун-та, 2010. 256 с.

Поступила в редакцию
25.08.2017